

# 하상재료 Sampling 기준에 대한 제안

## Suggestions for river bed material sampling criteria

조홍제\*, 이경원\*\*, 이재호\*\*\*, 박종원\*\*\*\*

Hong Je Cho, Kyeong Won Lee, Jea Ho Lee, Jong won Park

### 요 지

하상재료 조사 결과는 하천 계획과 개발의 기초 자료로 사용한다. 그러나 우리나라에는 하천 특성을 반영한 적절한 하상재료 조사 및 분석 방법을 제시하지 못하고 있다. 따라서 태화강 도시하천 연장 5km 구간에서 높은 밀도로 시료 채취를 시행한 후 하상재료의 분석 결과를 토대로 국내 하천 실정에 맞는 하상 재료 조사 및 분석 방법을 제안하고자 한다. 대상구간 5km에 대하여 250m 간격으로 시료 채취 간격을 설정하고, 하천의 중심 및 좌·우안의 시료를 채취하였으며, 심도별로 시료를 분리하여, 시료의 공간적 분포 특성을 판별할 수 있도록 하였다. 한편, 시료의 입도 분포와 유기물질 함량과의 관계, 입도 분포와 거리와의 상관관계를 분석하였다. 분석결과로부터 향후 시료채취의 적절한 간격과 시료채취의 적절한 깊이를 제안할 수 있다. 연구 성과는 하천 관련 계획이나 개발에서 실용적인 방법으로 활용할 수 있다.

**핵심용어 : 하상재료, 시료채취, 태화강, 입도, 유기물**

### 1. 서론

하상재료 조사 결과는 하천 계획이나 개발의 기초 자료로 사용한다. 하상재료 조사는 시료 채취, 시료 분석, 결과 처리, 자료 정리 순서로 진행된다. 시료채취는 하천의 종단방향 1km 간격으로 한 단면에 대해 3개 지점 이상으로 하고, 채취한 시료는 입도 분석하고, 분석 결과는 자료로 정리한다(한국수자원학회, 2009; 하천설계기준·해설). 그런데 국내에서는 하천 특성을 반영한 적절한 하상재료 조사 및 분석 방법을 제시하지 못하고 있다.

하상재료 조사 및 분석방법에 관한 연구는 지형학분야에서 소수의 연구 사례가 있으나, 수리학분야에서는 연구가 미진하다. 다만, 조립질 하상재료의 채취방법과 분석방법(한국건설기술연구원, 1993)을 국외연구 결과를 국내 실정에 맞게 수정한 사례가 있다. 기존의 하상재료 채취방법을 자갈하상에 적용하는 방법으로 하상 면적을 분사페인트로 표시하고 페인트가 묻은 시료를 채취하는 면적채취 방법(Carlson and Lane, 1953)과 임의로 걷거나 손 뺏치기에 의한 시료채취 방법(Wolman, 1954; Leopold, 1970), 사진 찍는 방법(Litter, 1969), 횡단채취 방법(Muir, 1969), 그리고 일정한 크기의 격자 틀을 놓고 격자점 아래에 걸리는 자갈을 채취하는 격자틀 시료채취 방법(Bray and Kellerhals, 1970) 등이 있다. 국외 연구에서는 자갈재료에 대해서 중요하게 다루고 있다. 국내에서도 입도 분포와 자갈하천의 조도계수와 특성을 분석하는데 하상재료의 입경이 미치는 영향에 관한 연구(유권규 등, 1993; 김지성 등, 2007; 이찬주 등, 2010)는 진행되고 있다. 이와 더불어, 채취방법에 대한 연구가 함께 진행된다면, 정확한 기초자료 확보로 하천관련 계획이나

\* 정회원 · 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 교수 · E-mail : [hjcho@mail.ulsan.ac.kr](mailto:hjcho@mail.ulsan.ac.kr)

\*\* 정회원 · 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 석사과정 · E-mail : [civil1771@hanmail.net](mailto:civil1771@hanmail.net)

\*\*\* 정회원 · 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 석사과정 · E-mail : [jhpole@hanmail.net](mailto:jhpole@hanmail.net)

\*\*\*\* 정회원 · 울산대학교 공과대학 건설환경공학부 석사과정 · E-mail : [piw2204@nate.com](mailto:piw2204@nate.com)

해석 등에 활용할 수 있을 것이다.

하상재료 조사 및 분석 방법을 제안하고자 본 연구에서는 울산광역시 태화강 도시하천 연장 5km 구간에서 높은 밀도로 시료채취를 시행한 후, 채취한 시료를 입도와 유기물 함량을 분석하고 통계적 특성을 파악하였다. 시료채취 간격은 하천설계기준에서는 1km를 채택하고 있으나, 본 연구에서는 250m 간격을 설정하였다. 채취 시료는 심도별로 분리하여 분포특성을 분석하고, 하천설계기준 1km와 일정간격 250m, 500m에 대한 분포 특성을 비교한다. 분석 결과로 시료의 입도 분포와 유기물질 함량과의 상관관계, 입도 분포와 거리의 상관관계를 분석하였다.

## 2. 시료 채취 및 분석

### 2.1 시료 채취 지점 와 시료 채취

실험하천으로는 태화강을 선정하였다. 태화강의 유로연장은 46.02km이다. 실험은 태화강의 도심구간에서 실시하였고 연장은 5km이다. 태화강 시료 채취지점은 그림 2와 같다. 시료채취는 네덜란드 Eijkekamp사 Sediment Steekmntn Sternemer, Type Beeker의 Core Sampler(그림 3)를 사용하였다.



그림 1. 위치도

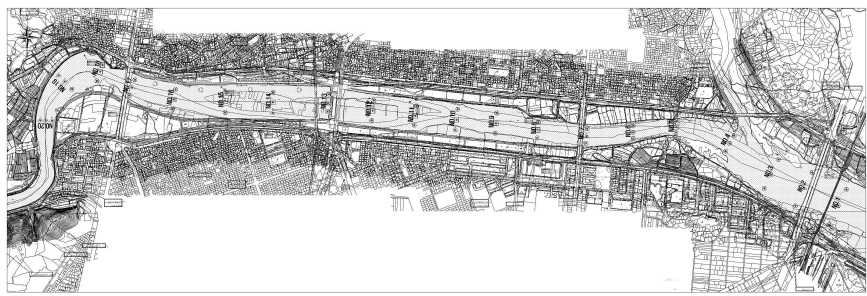


그림 2. 하상재료 하천구간 시료채취지점 현황



그림 3. Sediment Core Samler



그림 4. 시료 채취



그림 5. NO.1(좌) 오니 퇴적층

시료채취는 실험구간 5km에 대해서 250m 간격으로 하천중심과 하천 좌·우안 3개 지점과 오니 퇴적층이 예상되는 5개 지점을 포함한 총 65개 지점에서 하였다. 65개 시료 중 44개 시료는 Core Sampler를 50~100cm까지 삽입하여 채취하였고, 10개 지점은 장갑화로 시료채취를 할 수 없었으며, 11개 시료는 수심이 깊고 유속이 빨라 채취할 수 없었다. 채취한 시료에 대해 입도분석과 유기물함량 분석을 하였다.

### 2.3 입도 분석 방법

입도 분석은 흙을 구성하는 흙 입자의 입도를 입경에 따라 분류하는 것으로 KS A 5101에 의한 체분석 시험으로 결정한다. 체분석 시험은 표준체를 사용하였다. 입도 분포 결과는 표 1과 같이 구분하고 흙의 입도 분포가 좋고 나쁜 것을 판별할 수 있는 균등계수(Cu)와 곡률계수(Cg)는 식 (1)과 식 (2)에서 구한다.

표 1. 입경에 의한 흙의 분류

구분	입경	구분	입경
Gravel	4.760~2.000mm	Slit	0.075~0.002mm
Coarsed sand	4.720~0.425mm	Clay	<0.0002mm
Fine sand	0.425~0.075mm		

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (\text{모래 } Cu > 6, \text{ 자갈 } Cu > 4 \text{ 이면 입도가 좋다}) \quad (1)$$

$$Cg = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (1 \sim 3 \text{ 이면 입도가 좋다}) \quad (2)$$

여기서 D<sub>10</sub>, D<sub>30</sub>, D<sub>60</sub>은 각각 누가 통과율 10%, 30%, 60%에 해당하는 입경이고, D<sub>50</sub>은 평균 입경으로 누가 통과율 50%에 해당하는 입경이다.

### 2.4 유기물 함량 분석 방법

유기물 함량은 강열감량과 같은 뜻으로 KS F 2104에 의해 식(3)에서 결정한다. 강열감량은 채취한 시료를 실내에서 110±5℃에서 4시간 건조해 수분을 완전히 배제한 후 700~800℃에서 강열하고, 강열이 끝난 후 데시게이터 내에서 실온으로 냉각하여 전·후 시료 무게차로 구하였다.

$$\text{강열감량}(\%) = \frac{\text{강열전 시료무게} - \text{강열후 시료무게}}{\text{강열전 시료무게}} \times 100(\%) \quad (3)$$

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 입도 분포

입도 분포 결과는 표 2와 같다. 전체구간 입도분포는 Gravel 7.7%, Coarsed sand 50.8%, Fine sand 38.1%, Slit 3.3%, Clay 0.09%이다. No.19지점의 Coarsed sand가 83.0%로 가장 높고, 오니 퇴적층을 제외한 Coarsed sand는 평균 50.8%이다.

표 2. 입도 분석 결과

NO.	구분	강열감량 (%)	D10 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	Cu	Cg	관측 번호	구분	강열감량 (%)	D10 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	Cu	Cg
1 (우안)	상중하	3.2	0.09	0.18	0.29	0.35	3.9	1.0	10 (좌안)	상중하	5.2	0.06	0.15	0.18	0.21	3.4	1.7
			0.10	0.25	0.38	0.46	4.6	1.4				0.11	0.18	0.22	0.25	2.3	1.2
			0.17	0.25	0.33	0.40	2.4	1.0				0.15	0.18	0.24	0.27	1.8	0.8
1 (중앙)	상중하	3.5	0.42	0.55	0.70	0.80	1.9	0.9	11 (우안)	상중하	1.9	0.21	0.34	0.46	0.51	2.4	1.1
			0.40	0.53	0.67	0.77	1.9	0.9				0.09	0.20	0.40	0.49	5.4	0.9
			0.13	0.24	0.37	0.75	5.8	0.6				0.15	0.25	0.32	0.37	2.5	1.1
1 (좌안)	상중하	5.7	0.16	0.20	0.27	0.32	2.0	0.8	11 (좌안)	상중하	3.0	0.15	0.26	0.39	0.47	3.1	1.0
			0.11	0.18	0.27	0.30	2.7	1.0				0.24	0.37	0.51	0.60	2.5	1.0
			0.14	0.20	0.29	0.33	2.4	0.9				0.20	0.37	0.53	0.61	3.1	1.1
2 (우안)	상중하	4.8	0.17	0.31	0.45	0.60	3.5	0.9	12 (우안)	상중하	1.6	0.16	0.24	0.30	0.33	2.1	1.1
			0.15	0.30	0.40	0.50	3.3	1.2				0.22	0.30	0.38	0.41	1.9	1.0
			0.09	0.20	0.41	0.90	10.0	0.5				0.28	0.39	0.50	0.55	2.0	1.0
2 (좌안)	상중하	3.2	0.19	0.30	0.38	0.45	2.4	1.1	12 (좌안)	상중하	2.0	0.12	0.22	0.35	0.45	3.8	0.9
			0.14	0.25	0.31	0.33	2.4	1.4				0.30	0.45	0.59	0.65	2.2	1.0
			0.10	0.16	0.18	0.21	2.1	1.2				0.30	0.44	0.59	0.65	2.2	1.0
3 (우안)	상중하	2.6	0.11	0.21	0.37	0.49	4.5	0.8	13 (우안)	상중하	1.7	0.26	0.39	0.50	0.55	2.1	1.1
			0.18	0.27	0.36	0.40	2.2	1.0				0.26	0.37	0.48	0.54	2.1	1.0
			0.08	0.15	0.18	0.23	3.1	1.3				0.25	0.50	2.00	2.70	10.8	0.4
3 (중앙)	상중하	1.5	0.15	0.23	0.33	0.38	2.5	0.9	13 (중앙)	상중하	5.9	0.26	0.35	0.48	0.55	2.1	0.9
			0.22	0.54	0.72	0.85	3.9	1.6				0.10	0.20	0.30	0.35	3.5	1.1
			0.38	0.60	0.85	1.00	2.6	1.0				0.09	0.20	0.29	0.35	3.9	1.3
3 (좌안)	상중하	0.8	0.41	0.85	1.50	1.80	4.4	1.0	13 (좌안)	상중하	3.8	0.18	0.56	1.30	1.80	10.0	1.0
			0.47	1.00	1.40	1.70	3.6	1.3				0.20	1.70	4.00	0.0	0.0	0.0
			0.60	1.20	1.70	2.00	3.3	1.2				0.19	0.80	1.90	2.70	14.2	1.3

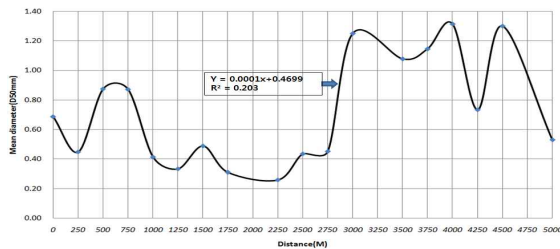
NO.	구분	강열량 (%)	D10 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	C <sub>u</sub>	C <sub>g</sub>	관측 번호	구분	강열량 (%)	D10 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	C <sub>u</sub>	C <sub>g</sub>
4 (우안)	상 중 하	10.6	0.10	0.31	0.70	0.95	10.0	1.1	14 (중양)	상 중 하	7.0	0.34	0.60	1.00	1.40	4.1	0.8
			0.12	0.19	0.30	0.43	3.6	0.7				0.28	0.45	0.70	0.90	3.2	0.8
			0.26	0.40	0.80	1.00	3.9	0.6				0.26	0.35	0.50	0.59	2.3	0.8
4 (중양)	상 중 하	0.7	0.09	0.65	0.85	1.10	12.2	4.3	14 (좌안)	상 중 하	2.7	0.29	0.41	0.55	0.61	2.1	1.0
			0.40	0.53	0.65	0.74	1.9	1.0				0.33	0.49	0.62	0.71	2.2	1.0
			0.35	0.58	0.86	1.10	3.1	0.9				0.40	0.65	1.20	1.50	3.8	0.7
4 (좌안)	상 중 하	0.7	0.45	0.85	1.40	1.50	3.3	1.1	15 (우안)	상 중 하	4.5	0.07	0.19	0.20	0.35	4.9	1.4
			0.42	0.70	1.20	1.40	3.3	0.8				0.07	0.19	0.28	0.32	4.6	1.6
			0.39	0.59	0.83	1.00	2.6	0.9				0.06	0.16	0.26	0.31	5.1	1.4
5 (우안)	상 중 하	4.9	0.25	0.34	0.47	0.68	2.7	0.7	15 (중양)	상 중 하	6.8	0.25	0.42	0.59	0.66	2.6	1.1
			0.18	0.28	0.38	0.50	2.8	0.9				0.35	0.51	0.70	0.84	2.4	0.9
			0.20	0.30	0.39	0.55	2.8	0.8				0.16	0.49	0.82	1.50	9.4	1.0
6 (우안)	상 중 하	4.5	0.17	0.23	0.30	0.33	1.9	0.9	15 (좌안)	상 중 하	2.7	0.22	0.48	0.80	1.20	5.5	0.9
			0.20	0.29	0.35	0.39	2.0	1.1				0.41	0.60	0.93	1.40	3.4	0.6
			0.22	0.30	0.36	0.40	1.8	1.0				0.40	0.60	0.90	1.30	3.3	0.7
6 (중양)	상 중 하	5.8	0.23	0.31	0.41	0.50	2.2	0.8	16 (우안)	상 중 하	3.9	0.15	0.28	0.38	0.42	2.8	1.2
			0.19	0.27	0.32	0.35	1.8	1.1				0.07	0.23	0.38	0.48	7.4	1.7
			0.11	0.18	0.22	0.25	2.3	1.2				0.08	0.26	0.45	0.55	7.3	1.6
6 (좌안)	상 중 하	3.1	0.24	0.33	0.44	0.51	2.1	0.9	16 (중양)	상 중 하	2.7	0.30	0.80	1.20	1.40	4.7	1.5
			0.12	0.21	0.31	0.36	3.0	1.0				0.40	0.85	1.40	1.80	4.5	1.0
			0.11	0.19	0.29	0.50	4.6	0.7				0.25	0.60	1.10	1.40	5.6	1.0
7 (우안)	상 중 하	4.1	0.30	0.18	0.00	3.30	0.0	0.0	16 (좌안)	상 중 하	3.9	0.46	1.30	2.30	3.20	7.0	1.2
			0.11	0.18	0.00	0.00	0.0	0.0				0.50	1.00	1.70	2.00	4.0	1.0
			0.20	0.52	1.60	2.20	2.3	1.2				0.50	0.95	1.40	2.10	4.2	0.9
7 (좌안)	상 중 하	2.5	0.10	0.27	0.40	0.48	5.1	1.6	17 (우안)	상 중 하	-	0.31	0.45	0.55	0.65	2.1	1.0
			0.10	0.29	0.42	0.53	5.5	1.7				0.06	0.07	0.08	0.35	5.8	0.2
			0.29	0.39	0.51	0.58	2.0	0.9				0.19	0.78	1.90	2.70	14.2	1.2
8 (우안)	상 중 하	4.2	0.18	0.27	0.32	0.35	1.9	1.2	17 (중양)	상 중 하	-	0.34	0.80	1.30	1.60	4.7	1.2
			0.19	0.28	0.34	0.38	2.0	1.1				0.40	0.78	1.30	1.60	4.0	1.0
			0.18	0.28	0.34	0.38	2.1	1.2				0.37	0.94	1.80	2.50	6.8	1.0
8 (좌안)	상 중 하	3.2	0.09	0.20	0.29	0.33	3.7	1.4	17 (좌안)	상 중 하	2.3	0.36	0.90	1.50	1.80	5.0	1.3
			0.06	0.19	0.29	0.34	5.9	1.8				0.32	0.90	1.60	1.90	5.9	1.3
			0.06	0.17	0.28	0.31	5.0	1.5				0.25	0.68	1.20	1.50	6.0	1.2
9 (우안)	상 중 하	1.7	0.24	0.32	0.40	0.45	1.9	1.0	18 (우안)	상 중 하	0.8	0.35	0.53	0.70	0.85	2.4	0.9
			0.25	0.31	0.38	0.42	1.7	0.9				0.37	0.53	0.70	0.85	2.3	0.9
			0.20	0.32	0.44	0.50	2.5	1.0				0.39	0.54	0.80	0.84	2.2	0.9
9 (좌안)	상 중 하	3.2	0.07	0.18	0.26	0.32	4.6	1.5	19 (우안)	상 중 하	0.7	0.42	0.95	1.40	1.60	3.8	1.3
			0.10	0.21	0.29	0.32	3.2	1.4				0.50	0.85	1.20	1.40	2.8	1.0
			0.12	0.22	0.29	0.31	2.6	1.3				0.50	0.85	1.30	1.50	3.0	1.0
10 (우안)	상 중 하	3.9	0.15	0.27	0.37	0.40	2.7	1.2	20 (우안)	상 중 하	2.0	0.11	0.25	0.38	0.48	4.4	1.2
			0.14	0.21	0.28	0.31	2.2	1.0				0.24	0.32	0.40	0.48	2.0	0.9
			0.10	0.18	0.26	0.28	3.0	1.2				0.15	0.45	0.80	1.40	9.3	1.0

### 3.2 유기물 함량

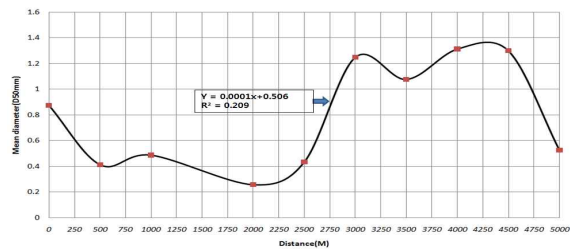
유기물 함량은 울산광역시 보건환경연구원에서 분석하였다. 유기물 함량은 전체 0.0~10.6%, 평균 2.41%로 나타났다(표 2).

### 3.3 대표입경과 거리의 상관관계

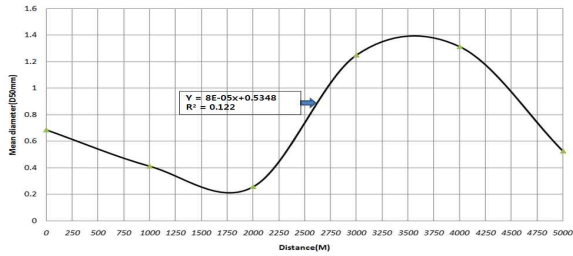
대표 입경(D50)과 거리의 상관관계는 간격에 대한 중단변화와 상관분석을 시행하였다. 대표 입경과 250m, 500m, 1km 간격의 중단변화는 그림 6과 같다. 상관분석은 두 변수가 서로 독립적인 관계일 때 서로 상관관계를 알아보는 방법이다. 변수가 증가할 때 해석이 증가할수록 해석에 문제점이 발생하고, 문제를 해결하기 위해서 조정 결정계수(R<sup>2</sup>)을 사용한다. 결정계수는 자료에 적합한 정도를 재는 척도이다. 상관관계 비교하면 결정계수(R<sup>2</sup>)이 각각 0.203, 0.209, 0.122이다.



(a) 250m 간격



(b) 500m 간격

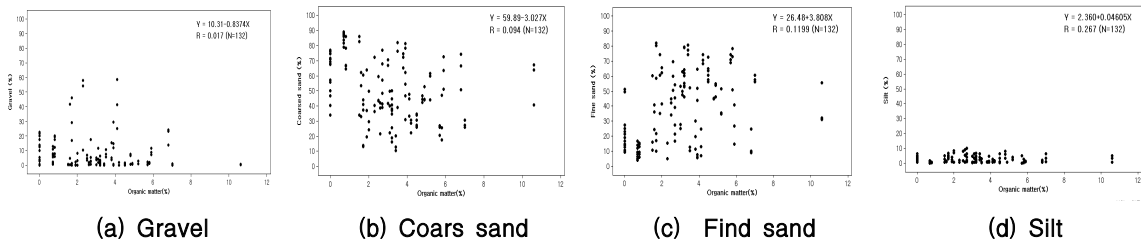


(c) 1km 간격

그림 6. 대표입경과 250m,500m,1km 간격의 상관관계

### 3.4 유기물함량과 입도분포 상관관계

입도 분포와 유기물함량의 상관관계를 분석하였다. 분석 결과는 그림 7과 같다. 상관분석은 두 변수와 서로 독립적인 관계일 때 서로 상관관계를 알아보는 방법이다. 두 변수간의 관련성을 분석하는데 상관계수(R)을 사용한다. 상관계수는 결정계수를 예측하는 정도이고, 상관성을 평가하는 척도이다. 상관관계는 Gravel < Coarsed sand < Fines sand < Silt 순서이고, 상관계수(R)는 각각 0.017, 0.0942, 0.1199, 0.267 이다.



(a) Gravel

(b) Coars sand

(c) Find sand

(d) Silt

그림 7. Gravel, Coars sand, Find sand, Silt의 입도분포와 유기물 함량의 상관관계

### 3. 결론

본 연구는 하상재료조사 및 분석방법을 제안하기 위하여 태화강 시험구간의 하상재료를 채취한 결과이다.

- 1) 5km 구간에 대하여 44개 지점에서 하상재료를 채취하였으며, 22,395m<sup>2</sup>/개 밀도로 채취하였다.
- 2) 태화강의 하상재료는 평균입경(D50) 0.67mm, 균등계수(Cu) 1.7~14.2, 곡률계수(Cg) 0.2~4.3이다.
- 3) 입경분포와 채취거리의 상관관계를 살펴보기 위해 하천설계기준과 동일한 1km간격 및 250m, 500m 상관관계를 도시하였다.
- 4) 본 연구 결과에 따라 입경분포 및 유기물 분석 결과의 특이성을 제거한 후 적절한 하상재료 채취 방법을 향후 제안하고자 한다.

### 감사의 글

본 연구를 위해 태화강 하상시료 채취를 도와주신 ES 다산의 박상길, 정대영, 지문환께 감사드립니다.

### 참고 문헌

1. 한국건설기술연구원(1993), 평형하상경사 결정방법의 개발, 기본연구과제 보고서.
2. 우효섭(2001), 하천수리학, chap. 10-11, 청문각.
3. 한국수자원학회(2009), 하천설계기준·해설.
4. Wolmon, M. G.(1954), A Method Of Sampling Coarse River-Bed Material. Transactions, American Geophysical Union, VOL. 35, NO.6